

Prévision de vente et aide à la décision de réapprovisionnement de produits à cycle rapide

BENOIT MONTREUIL^{1,2}, JOËLLE BOUCHARD², ALEXANDRE MORNEAU^{2,3}, EDITH BROTHERTON^{2,4}

¹ COCA-COLA CHAIR IN MATERIAL HANDLING AND DISTRIBUTION

H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Ga, U.S.A.

benoit.montreuil@isye.gatech.edu

² CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE SUR LES RESEAUX D'ENTREPRISE,

LA LOGISTIQUE ET LE TRANSPORT (CIRRELT), UNIVERSITE LAVAL

2325, rue de la Terrasse, Pavillon Palasis-Prince, Québec (Québec) Canada G1V 0A6

joelle.bouchard@cirrelt.ulaval.ca

³alexandre.morneau@cirrelt.ulaval.ca

⁴edith.brotherton@cirrelt.ulaval.ca

Résumé – Cet article introduit une méthode de prise de décision de réapprovisionnement de produits à court cycle de vie afin de desservir un réseau de magasins de détail. La méthode permet de cibler les produits à fort potentiel de vente, de prévoir les ventes jusqu'à la fin de la saison et d'élaborer des recommandations de réapprovisionnement sur la base d'informations de demande, de vente, d'inventaire, de commande et de délai d'approvisionnement. L'objectif est d'identifier rapidement les produits à réapprovisionner et déterminer la taille des commandes afin d'augmenter les revenus potentiels et la rentabilité des entreprises.

Abstract - This paper introduces a method of making replenishment decisions for short life cycle products to serve a retail network. The method allows to target products with high-potential of sales, to forecast demands and sales until the end of the season and to develop replenishment recommendations on the basis of information of demand, sales, inventory, orders and delivery times. The goal is to quickly identify the products to replenish and determine the order sizes to increase revenue potential and business profitability.

Mots clés – Prévisions de vente journalière, réapprovisionnement, saisonnalité, intervalles de prévision.

Keywords – Daily sales forecasting, replenishment decisions, seasonality, forecast intervals.

1 INTRODUCTION

L'offre commerciale d'une entreprise constitue le principal élément d'intérêt des clients à l'égard d'un détaillant. À chaque saison de vente un très grand nombre de nouveaux produits sont introduits sur le marché afin de satisfaire un large éventail de goûts et besoins de la clientèle. À titre illustratif, dans l'entreprise considérée dans cette étude, entre 3300 et 4900 nouvelles combinaisons de produits et couleurs sont lancées sur le marché dans l'ensemble du réseau de détaillants à chaque saison de vente. Une analyse de Pareto effectuée sur les données de vente de l'entreprise partenaire dans cette recherche démontre toutefois que 20 % des produits génèrent 80% du volume de vente. Un grand nombre de produits et couleurs proposés attire peu la faveur de la clientèle. Cet article présente, dans un premier temps, une méthode permettant de catégoriser les nouveaux produits selon leur potentiel de vente afin d'identifier rapidement les produits populaires et ainsi concentrer les efforts d'analyse prévisionnelle

sur ces produits ayant le plus de chance d'être réapprovisionnés. Par ailleurs, il est de pratique courante d'introduire les nouveaux produits dans un nombre restreint de magasins afin de tester la réaction des consommateurs. En fonction du résultat des ventes, une décision est prise afin de déterminer s'il y a lieu de déployer, sur l'ensemble des magasins de la chaîne, la disponibilité de ces produits. La Figure 1, ci-dessous, illustre la corrélation entre les ventes, le nombre de magasins dans lequel un produit est offert et l'inventaire disponible. On remarque, dans le graphique du haut de la Figure 1, une augmentation des ventes cumulées à partir de la période 71 attribuable à une augmentation du nombre de magasins tel qu'illustré dans la partie centrale de la Figure 1. La partie au bas montre la relation entre l'inventaire disponible et les ventes. En début de saison, les ventes sont plutôt faibles puisque l'inventaire est limité. Ce cas illustratif présente l'importance de considérer les informations relatives au nombre de magasins et à l'inventaire dans l'élaboration de prévision de vente future pour une combinaison produit et couleur donnée.

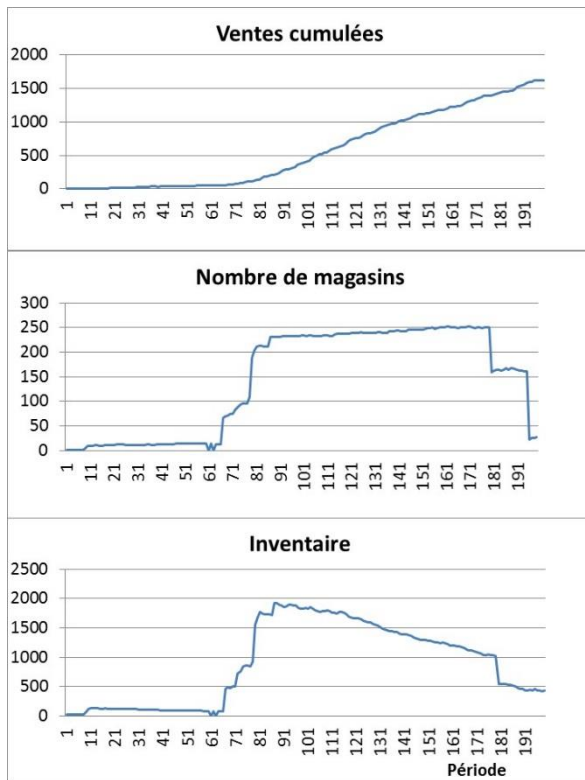


Figure 1- Corrélation entre les ventes cumulées, le nombre de magasins et l'inventaire disponible.

Cet article présente, dans un deuxième temps, une méthode de prévision de vente pour des nouveaux produits possédant un historique de vente limité, qui tient compte du nombre de magasins, de l'inventaire, des commandes et des délais de livraison. Sur la base des résultats obtenus, une procédure d'élaboration de recommandations de réapprovisionnement est alors proposée.

L'article est structuré comme suit. La section 2 présente une brève revue de la littérature. La section 3 décrit la procédure permettant de classer les produits selon leur potentiel de vente. La section 4 présente la méthode de prévisions de vente pour un produit et couleur à fort potentiel de vente. La section 5 décrit la méthode de prise de décision de réapprovisionnement. Enfin, les sections 6 et 7 présentent respectivement les résultats obtenus et la conclusion.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Étant donné le très grand nombre de produits à prévoir dans l'industrie du commerce de détail, différentes méthodes de classification ont été développées afin d'agréger les produits dans le but réduire le nombre de prévision à effectuer et améliorer leur précision. Thomassey (2002) présente différents algorithmes d'agrégation afin de regrouper les différents produits par similarité comme la méthode de classification hiérarchique ascendante qui consiste à regrouper des produits individuels (en bas de la hiérarchie) dans un certain nombre de classes ayant les caractéristiques semblables et la méthode de classification floue qui affecte les produits à toutes les classes et leur attribue un indice d'appartenance variant entre 0 et 1 à chacune des classes. Goto *et al.* utilisent plutôt un regroupement basé sur les jours de la semaine pour limiter le nombre de modèles de prévision à élaborer.

Les données de vente de produits à cycle rapide présentent une double saisonnalité et des jours spéciaux. Taylor (2003) adapte la méthode de lissage exponentiel de Holt-Winter (1960) afin de considérer une deuxième saisonnalité présente dans les données. Souza *et al.* (2007) améliorent la méthode de Taylor en ajustant les prévisions à posteriori en fonction des jours spéciaux.

La détermination des tailles de commandes de produits à court cycle de vie comme des produits périssables ou des produits de mode, sont traités par Sang et Takakuwa (2012) à l'aide du problème bien connu du vendeur de journaux. Kawakatsu *et al.* (2014) développent un modèle d'inventaire adapté à des produits saisonniers à fin de vie déterminée alors qu'Al-Zubaidi et Tyler (2004) proposent l'utilisation du système QR (*Quick Response*) pour estimer les tailles de commandes.

La section suivante présente l'approche proposée pour catégoriser les produits sur le marché en fonction de leur potentiel de vente afin de concentrer les efforts d'analyse prévisionnelle sur les produits ayant le plus de chances de nécessiter un réapprovisionnement.

3 CLASSIFICATION DES PRODUITS SELON LEUR POTENTIEL DE VENTE

Dans une analyse de Pareto tous les produits sont classés en ordre décroissant de vente durant une période déterminée sans égard au nombre de magasins dans lesquels ils sont offerts ni au nombre de jours de disponibilité. À titre d'exemple, le produit A en tête de liste d'une analyse de Pareto cumule des ventes de 18250 unités sur une période de disponibilité d'une année. Cela représente des ventes d'environ 50 unités par jour. Si A est offert dans 100 magasins, les ventes par jour par magasin sont alors de 0,5 unité. Le produit B, génère des ventes quotidiennes de 100 unités mais est disponible depuis un mois dans seulement 5 magasins. Le produit B ne sera pas détecté, dans cette analyse de Pareto, comme un produit à succès même si ses ventes par jour par magasin sont 40 fois plus importantes que celles du produit A. L'approche préconisée ici est de considérer l'ensemble des produits d'une même catégorie sur une base de comparaison commune quant au nombre de magasins et au nombre de jours de disponibilité. La méthode consiste à calculer, pour chaque combinaison de produits et couleurs, un ratio de vente par magasin moyen par jour moyen. Les produits nouvellement mis en marché sont souvent disponibles, dans un premier temps, dans les magasins à fort volume de vente. Les ventes totales ramenées sur une base de magasin moyen permettent de tenir compte de l'ensemble des magasins de la division peu importe leur volume de vente. La même logique est poursuivie pour déterminer les ventes sur une base de jour moyen. Les produits-couleurs dont le ratio de vente par magasin moyen par jour moyen est supérieur à 15 %, basé sur l'observation d'un historique de produits-couleurs, sont regroupés dans la classe de produits très populaires et feront l'objet d'une analyse plus approfondie afin de valider si un réapprovisionnement est requis compte tenu d'informations sur les prévisions de vente, la demande, les commandes, l'inventaire, les produits substitués, l'avancement de la saison de vente et les délais de livraison. Les produits dont le ratio de vente par magasin moyen par jour moyen est inférieur à 3 % font partie de la classe des produits non populaires qui ne risquent pas de faire l'objet d'un réapprovisionnement. Des prévisions de vente future pour ces produits sont donc sans intérêt. Les produits dans la classe intermédiaire nécessitent un suivi périodique afin de noter tout

changement de classe. La procédure de calcul du ratio de vente par magasin moyen par jour moyen est décrite ci-après et synthétisée dans la Figure 2 ci-dessous.

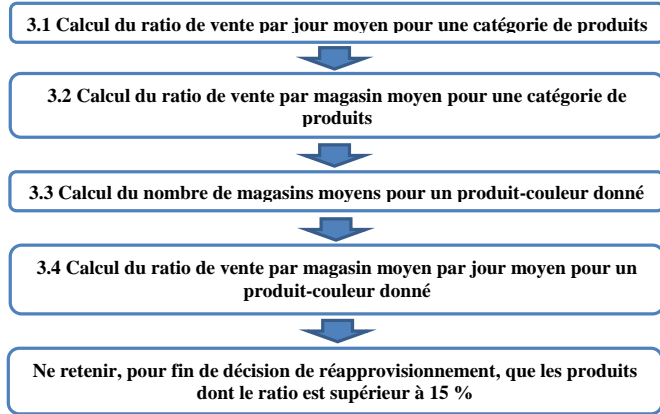


Figure 2- Synthèse des étapes de calcul du ratio de vente par magasin moyen jour moyen.

3.1 Calcul du ratio de vente par jour moyen pour une catégorie de produits

Les ventes sont influencées par le jour de la semaine, les journées spéciales (Noël, Pâques), les périodes de soldes de fin de saison, etc. Le calcul des ratios de vente par jour moyen permet de comparer les ventes de chacune des journées d'une année de référence par rapport à une journée moyenne de vente. Le calcul du ratio de vente par jour moyen (MD) est obtenu en divisant les ventes historiques totales d'une journée (D) pour une catégorie de produits pour l'ensemble des magasins d'une division (réseau de détaillants) par la moyenne des ventes journalières de cette catégorie, notée \bar{D} , calculée sur une période de 365 jours précédant une date d'observation donnée. L'équation (1) présente le calcul des ventes moyennes journalières alors que l'équation (2) présente le ratio des ventes par jour moyen calculé à chaque période.

Indice :

t : Période de temps

Intrants périodiques :

D_t : Ventes totales de l'ensemble des produits d'une catégorie pour tous les magasins d'une division à la période t ;

\bar{D}_t : Moyenne des ventes journalières pour l'ensemble des produits inclus dans une catégorie pour tous les magasins d'une division à la période t ;

MD_t : Ratio de vente par jour moyen à la période t ;

$$\bar{D}_t = \frac{\sum_{i=0}^{364} D_{t-i}}{365} \quad (1)$$

$$MD_{t-i} = \frac{D_{t-i}}{\bar{D}_t} \quad i = 0, 1, \dots, 364 \quad (2)$$

Une journée moyenne possède un ratio de vente par jour moyen de 1. Une journée avec un ratio inférieur à 1 représente une journée dont le volume des ventes est plus faible qu'une journée moyenne alors qu'un ratio supérieur à 1 indique une journée dont le volume des ventes est plus important qu'une journée moyenne. La Figure 3 ci-dessous présente les variations de ratios de vente par jour moyen pour une année d'historique. On remarque que ce ratio oscille autour de 1 avec quelques pointes à la rentrée scolaire

et au grand solde après Noël (*Boxing Day*) pour la catégorie de produits analysée. Ce ratio est mis à jour à chaque nouvelle période t .

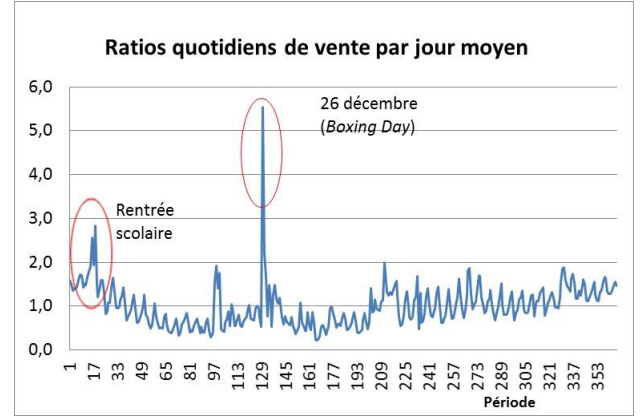


Figure 3- Variation des ratios de vente par jour moyen pour une catégorie de produits

3.2 Calcul du ratio de vente par magasin moyen pour une catégorie de produits

Le volume des ventes diffère d'un magasin à un autre en raison notamment de la localisation, de la taille et du type de magasin, du marché desservi, etc. En ramenant le volume des ventes par magasin sur une base de magasin moyen, la comparaison entre ceux-ci est facilitée. En considérant une période historique d'une année précédant une date d'observation t , le ratio de vente par magasin moyen (MS) est obtenu en divisant les ventes annuelles de chaque magasin (S) d'une division pour une catégorie de produits par la moyenne des ventes annuelles par magasin (\bar{S}) tel que décrit par l'équation (4).

Indices :

n : Nombre de magasins offrant des produits dans une catégorie donnée;

y : Magasin offrant des produits dans une catégorie donnée;

Intrants périodiques additionnels:

$S_{y,t}$: Ventes annuelles de l'ensemble des produits d'une catégorie pour le magasin y à la période t ;

\bar{S}_t : Moyenne des ventes annuelles de l'ensemble des produits d'une catégorie et pour l'ensemble des magasins d'une division à la période t ;

$MS_{y,t}$: Ratio de vente par magasin moyen associé au magasin y à la période t ;

$$\bar{S}_t = \frac{\sum_{y=1}^n S_{y,t}}{n} \quad (3)$$

$$MS_{y,t} = \frac{S_{y,t}}{\bar{S}_t} \quad y = 1, \dots, n \quad (4)$$

L'équation (3) donne la moyenne des ventes annuelles pour une catégorie de produits d'un ensemble de magasins d'une division calculée à la période t . Un magasin moyen possède un ratio de 1. Un magasin dont le ratio est inférieur à 1 représente un magasin dont le volume de vente est plus faible qu'un magasin moyen. Ainsi, pour un magasin particulier, un ratio de vente par magasin moyen de 2 signifie que les ventes de ce magasin sont équivalentes aux ventes de deux magasins moyens. Un ratio de vente par

magasin moyen est donc attribué à chacun des magasins d'une division offrant des produits dans une catégorie donnée. Ce ratio est mis à jour à chaque nouvelle période t .

Les ratios de vente par jour moyen (MD) et de vente par magasin moyen (MS) sont obtenus à partir d'informations recueillies au niveau d'une catégorie de produits. On s'intéresse maintenant à la performance d'un produit-couleur par rapport aux autres produits-couleurs au sein d'une même catégorie. L'objectif est d'obtenir un indicateur permettant de classer les différentes combinaisons de produits-couleurs offertes sur le marché selon leur potentiel de vente future. La partie qui suit vise à déterminer cet indicateur appelé ratio de vente par magasin moyen par jour moyen.

3.3 Calcul du nombre de magasins moyen pour un produit-couleur donné

Les nouveaux produits sont introduits sur le marché et déployés à travers la division dans un nombre de magasins variable. La prochaine partie présente la détermination du nombre de magasins moyens dans lequel un produit-couleur est disponible. Les informations sur l'inventaire du produit-couleur dans chacun des magasins de la division et les ratios de vente par magasin moyen (MS) obtenus à la partie 3.2 sont requis pour cette étape. On pose comme hypothèse simplificatrice qu'un produit-couleur est considéré disponible lorsqu'au moins 3 unités sont en inventaire dans un magasin considérant qu'il peut être offert en différentes tailles. Le nombre de magasins moyens est obtenu en faisant la somme des ratios de vente par magasin moyen (MS) de tous les magasins dont l'inventaire est supérieur à 2 tel que décrit par l'équation (5). Le nombre de magasins moyens est mis à jour à chaque nouvelle période de disponibilité pour un produit-couleur.

Indice :

p : Produit-couleur spécifique;

Intrants périodiques additionnels:

$MM_{p,t}$: Nombre de magasins moyens associé au produit-couleur p à la période t ;

$L_{p,y,t}$: Inventaire total du produit-couleur p dans le magasin y à la période t ;

$$MM_{p,t} = \sum_{y=1}^n MS_{y,t} \text{ pour } L_{p,y,t} > 2 \quad (5)$$

3.4 Calcul du ratio de vente par magasin moyen par jour moyen pour un produit-couleur donné

La prochaine étape consiste à transformer les ventes quotidiennes totales pour un produit-couleur particulier en ventes par magasin moyen par jour moyen. L'objectif est de calculer un indicateur afin de classer le produit-couleur selon son potentiel de vente future par rapport aux autres produits de sa catégorie. Seuls les produits-couleurs ayant un ratio supérieur à 0,15 seront, suite à une analyse prévisionnelle, considérés pour fins de réapprovisionnement. Déterminons d'abord, pour chaque période de disponibilité du produit-couleur, les ventes par magasin moyen en divisant les ventes journalières totales pour un produit-couleur par le nombre de magasins moyens dans lesquels ce produit-couleur est disponible et calculé au point 3.3.

Indice :

r_p : Nombre de périodes de disponibilité pour un produit-couleur p ;

Intrants périodiques additionnels:

$TS_{p,t}$: Ventes totales du produit-couleur p à la période t ;

$TSM_{p,t}$: Ventes par magasin moyen du produit-couleur p à la période t ;

$$TSM_{p,t-i+1} = \frac{TS_{p,t-i+1}}{MM_{p,t-i+1}} \text{ pour } i = 1, 2, \dots, r_p \quad (6)$$

Les ventes par magasin moyen (TSM) sont par la suite divisées par le ratio de vente par jour moyen associé aux différentes périodes t de l'équation (2) afin d'obtenir les ventes par magasin moyen par jour moyen ($MSMD$) de la façon suivante :

$$MSMD_{p,t-i+1} = \frac{TSM_{p,t-i+1}}{MD_{t-i+1}} \text{ pour } i = 1, 2, \dots, r_p \quad (7)$$

Une moyenne mobile d'ordre 7 est ensuite appliquée sur les valeurs des ventes par magasin moyen par jour moyen afin de considérer des semaines entières de données. Les moyennes mobiles sont par la suite lissées à l'aide d'un lissage exponentiel simple ($\alpha = 0,15$). La Figure 4 montre les différentes valeurs de ratios lissés de vente par jour moyen par magasin moyen pour un produit-couleur particulier pour toute sa période de disponibilité.

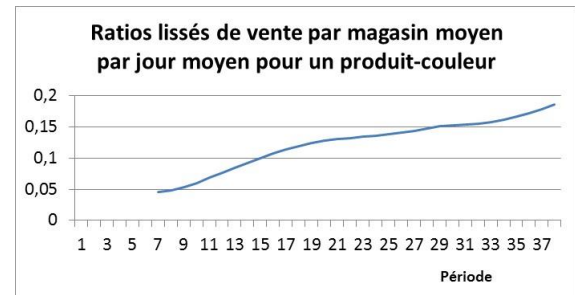


Figure 4- Ratios lissés pour un produit-couleur spécifique ayant 38 jours de disponibilité en magasin.

Le produit-couleur présenté dans la Figure 4 possède un ratio lissé de vente par magasin moyen par jour moyen de 0,1859 à la période d'observation $t = 38$. Comme le ratio est supérieur à 15%, ce produit-couleur est considéré à fort potentiel de vente. Une analyse des prévisions des ventes futures permettra par la suite de déterminer si un réapprovisionnement est nécessaire. Ce calcul des ratios de vente par magasin moyen par jour moyen est effectué pour tous les produits-couleurs offerts au prix régulier d'une catégorie. Les produits en solde sont en fin de cycle de vie et doivent être écoulés pour faire place aux nouveautés. Ils ne sont donc pas réapprovisionnés. Le calcul des ratios de vente par magasin moyen par jour moyen est aussi effectué à toutes les périodes sur un horizon roulant afin de détecter rapidement les produits-couleurs populaires.

La partie qui suit présente la démarche de calcul des prévisions pour un produit-couleur.

4 METHODE DE PREVISION DE VENTE POUR PRODUITS A FORT POTENTIEL DE VENTE

Les prévisions directes de vente pour les catégories de produits présentant des saisonnalités mensuelles et journalières de même que des jours spéciaux, sont obtenues à l'aide de la méthode de prévision Bouchard-Montreuil [Bouchard et Montreuil, 2009, 2011] adaptée à ce contexte. La Figure 5 montre un exemple des prévisions effectuées sur une catégorie de produits pour un horizon de prévision d'une année. Les effets saisonniers ainsi obtenus seront utilisés dans le calcul des prévisions pour un produit-couleur inclus dans cette catégorie de produits. Pour isoler

ces effets saisonniers multiples, il suffit de diviser les prévisions de vente journalières par la prévision journalière moyenne calculée sur une période de 365 jours tel que décrit par l'équation (8).

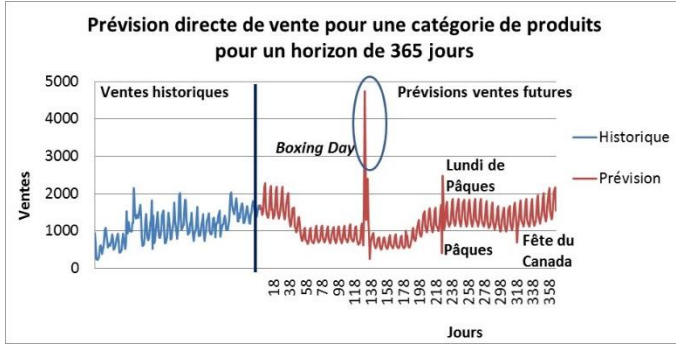


Figure 5- Prévision directe obtenue à l'aide de la méthode Bouchard-Montreuil.

La Figure 6 présente ces indices saisonniers estimés pour la prochaine année pour une catégorie de produits.

Intrants périodiques additionnels:

$\hat{X}_t(k)$: Prévision effectuée à la période t pour k périodes à l'avance;

$I_t(k)$: Indice saisonnier calculé à la période t pour k périodes à l'avance;

$$I_t(k) = \frac{\hat{X}_t(k)}{\sum_{k=1}^{365} \hat{X}_t(k) / 365} \quad \text{pour } k = 1, 2, \dots, 365 \quad (8)$$

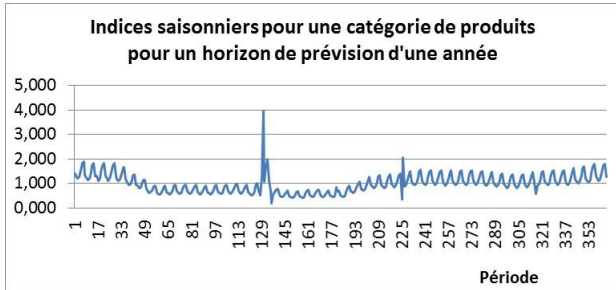


Figure 6- Indices saisonniers pour un horizon de 365 jours

4.1 Calcul des prévisions pour un produit-couleur

Les prévisions pour un produit-couleur sont obtenues en considérant d'une part l'effet saisonnier obtenu de la prévision directe pour une catégorie de produits et donné par l'équation (8), le nombre de magasins moyens (section 3.3) et les ventes par magasin moyen par jour moyen (section 3.4) à une date d'observation t . L'équation (9) présente la formulation.

Intrants périodiques additionnels:

$\hat{X}_{p,t}(k)$: Prévision pour le produit-couleur p effectuée à la période t pour k périodes à l'avance;

$MM_{p,t}(k)$: Nombre de magasins moyens associé au produit-couleur p calculé à la période t pour k périodes à l'avance;

$$\hat{X}_{p,t}(k) = I_t(k) \times MM_{p,t}(k) \times MSMD_{p,t} \quad (9)$$

Suite à une première prévision de vente effectuée à la période t pour un horizon d'une journée à l'avance pour un produit-couleur, la prochaine étape consiste à ajuster l'inventaire à la baisse pour refléter l'impact de la prévision de vente sur le stock disponible

ou à la hausse pour considérer l'arrivée de nouvelle commande pour un produit-couleur. La prochaine partie présente la procédure d'ajustement de l'inventaire et l'estimation du nombre de magasins moyens dans lesquels les inventaires et les commandes sont déployés à travers la division.

4.2 Calcul des prévisions pour un produit-couleur jusqu'à la date de fin de saison

Le calcul des prévisions de vente pour les périodes $t+2$, $t+3$, ..., $t+k$ s'effectue en plusieurs étapes. Tout d'abord l'inventaire du produit-couleur doit être mis à jour à chaque horizon k en fonction de la valeur de la prévision calculée à la période t . Par la suite, le nombre de magasins moyens doit être ajusté en fonction des nouvelles valeurs d'inventaire. La section qui suit présente donc les procédures de mises à jour requises avant l'élaboration des prévisions pour chacune des périodes k jusqu'à la fin de la saison de vente pour un produit-couleur. La procédure de calcul est schématisée à la Figure 7. L'encadré rouge décrit l'équation (9) du calcul des prévisions pour un produit-couleur.

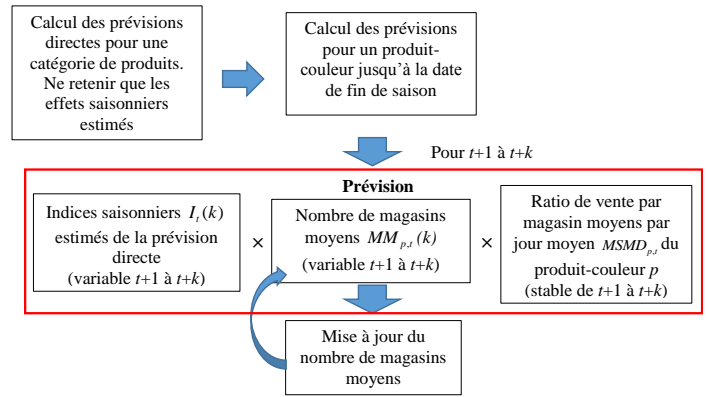


Figure 7- Schéma de classification et du calcul des prévisions pour un produit-couleur.

La première mise à jour préalable au calcul des prévisions jusqu'à la fin de la saison de vente porte sur l'inventaire du produit-couleur. Cet inventaire est diminué d'une quantité correspondant à la prévision effectuée à la période t pour les k périodes futures ou augmenté en fonction de l'arrivée d'une commande pour un produit-couleur. À titre d'exemple, pour un produit-couleur A, la prévision effectuée à la période t pour la période $t+1$ est de 30 unités vendues. L'inventaire de la période $t+1$ doit être ajusté pour tenir compte de cette prévision de vente. Si l'inventaire de la période t est de 580 unités alors les unités en stocks à la période $t+1$ seront de 550. Cet inventaire sera de nouveau ajusté à la période $t+2$ suite au calcul de la prévision effectuée à la période t pour deux périodes à l'avance et ainsi de suite. Cette nouvelle valeur d'inventaire, ajustée en fonction des prévisions ou de la réception d'une commande, impose par la suite la mise à jour du nombre de magasins moyens décrit dans la section 3.3 et utilisé dans le calcul des prévisions futures tel que présenté dans la section 4.1 grâce à l'équation (9). Le calcul du nombre de magasins moyens tient donc à la fois compte des inventaires en main et des réceptions de commandes. La répartition des inventaires et des nouvelles commandes à l'intérieur d'une division doit aussi être considérée dans l'analyse. En effet, une nouvelle commande de 500 unités par exemple n'est pas livrée à un seul magasin d'une division mais plutôt répartie dans toute la division selon un patron de déploiement estimé et présenté à la section suivante.

4.3 Modèle de déploiement des inventaires dans l'ensemble des magasins d'une division.

La partie qui suit présente la procédure d'obtention des modèles de déploiement des inventaires permettant d'estimer le nombre de magasins moyens. Les modèles de déploiement des inventaires sont calculés pour chaque département d'une division et sont construits à partir d'un historique de plus de deux années. À titre informatif, dans la structure hiérarchique d'une entreprise spécialisée dans le commerce de détail, un département est un regroupement de plusieurs catégories de produits. Pour une entreprise œuvrant dans la vente de vêtements, par exemple, on pourrait classer le portfolio des produits offerts en trois grands départements : vêtements pour hommes, vêtements pour femmes et vêtements pour enfants. Chacun de ces départements est lui-même divisé en catégories. En utilisant l'exemple précédent, on peut imaginer pour le département des vêtements pour hommes, la catégorie vêtements sports ou encore la catégorie des tenues de soirées. Enfin au dernier niveau de la hiérarchie, on retrouve l'ensemble des produits offerts dans chacune des catégories.

La Figure 8 présente un exemple de modèle de déploiement des inventaires pour un département particulier. Chaque point du nuage de points représente un couple de données (inventaire, nombre de magasins moyens) correspondant à chacun des produits-couleur du département pour chaque période de l'historique considéré.

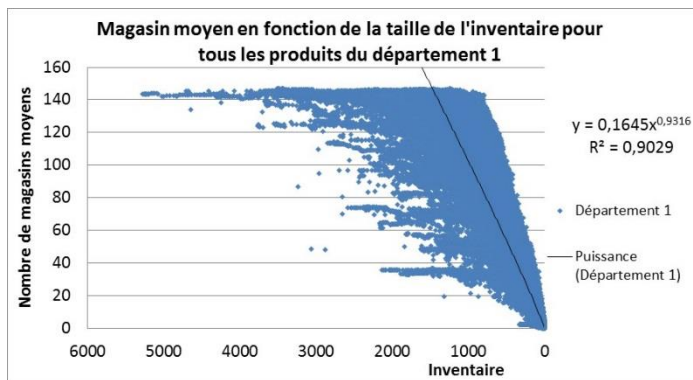


Figure 8 – Modèle de déploiement des inventaires pour le département 1.

Une courbe s'ajustant le mieux au nuage de points est ensuite calculé. Plusieurs modèles de courbes (tendance linéaire, logarithmique, puissance, etc.) sont testés. Le modèle retenu est celui ayant le coefficient de détermination R^2 le plus élevé. Dans le département présenté à la Figure 8, le coefficient de détermination est de 0,9029 et le modèle de déploiement des inventaires pour ce département est $MM^I = 0,1645L^{0,9316}$ où

MM^I (axe des Y) représente le nombre de magasins moyens dans lesquels les inventaires sont déployés et L (axe des X) la taille de l'inventaire. Un inventaire de 550 unités d'un produit-couleur inclus dans ce département, pour reprendre l'exemple précédent, devrait être déployé dans 84 magasins de la division selon ce modèle. Notons que les modèles de déploiement des inventaires ont été calculés pour l'ensemble des magasins physiques d'une division. Les informations relatives aux magasins de vente en ligne n'ont pas été traitées dans cette analyse en raison de leur comportement particulier.

4.4 Modèle de déploiement des commandes dans l'ensemble des magasins d'une division

Les modèles de déploiement des commandes sont aussi calculés pour chaque département spécifique d'une division. La Figure 9 présente un exemple de modèle de déploiement des commandes pour un département donné. Chaque point du diagramme de dispersion présente un couple de données (taille de la commande, nombre de magasins moyens) correspondant à chacun des produits-couleur d'un département pour l'historique considéré. Le modèle de déploiement des commandes obtenu pour le département présenté à la Figure 9 est : $MM^C = 39,849 \ln(C) - 155,78$ où MM^C représente le nombre de magasins moyens dans lesquels une commande est déployée (axe des Y) et C (axe des X), la taille de la commande. Tout comme dans le cas des modèles de déploiement des inventaires, les modèles retenus donnent les coefficients de détermination R^2 les plus élevés. Selon ce modèle, une commande de 150 unités serait déployée dans 43 magasins de la chaîne. Il est à noter que les modèles de déploiement des commandes ne considèrent que les commandes initiales.

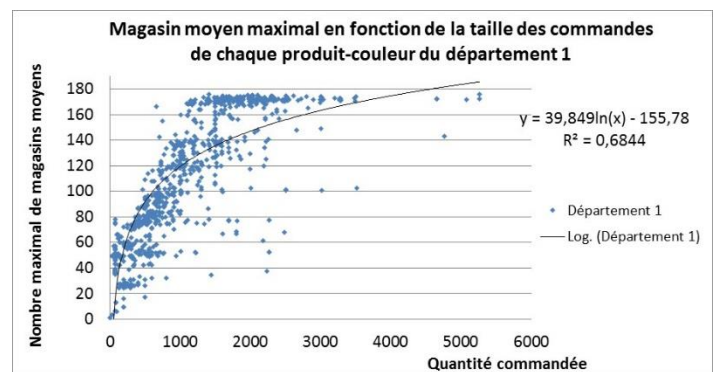


Figure 9 – Modèle de déploiement des commandes pour le département 1.

Ces modèles de déploiement des inventaires et de commandes sont utilisés dans la détermination du nombre de magasins moyens requis dans le calcul des prévisions de vente future d'un produit-couleur et décrit à l'équation (9). Ces modèles de déploiement des inventaires et des commandes sont fixes pour tous les produits-couleur d'un même département et pour tout l'horizon de prévision. Il y a, par ailleurs, autant de modèles que de départements dans l'entreprise.

4.5 Mise à jour du nombre de magasins moyens

La mise à jour du nombre de magasins moyens tient compte d'une part des inventaires restants estimés et des réceptions de commandes. La procédure de calcul est donc effectuée en deux étapes. Dans un premier temps, on détermine le nombre de magasins moyens associé aux inventaires restants (MM^L) et dans un second temps, on détermine le nombre de magasins moyens associé aux commandes reçues (MM^O). Le nombre de magasins moyens mis à jour sera la somme du nombre de magasins moyens obtenu à chacune des deux étapes.

4.5.1 Calcul du nombre de magasins moyens associé aux inventaires restants estimés.

Le nombre de magasins moyens varie en fonction de l'inventaire disponible d'un produit-couleur dans le réseau de détaillants tel qu'illustré à la Figure 8. Ainsi plus l'inventaire est grand, plus le produit-couleur est disponible dans un grand nombre de magasins.

Comme l'inventaire décroît en fonction des prévisions de vente estimées pour la durée de la saison de vente, le nombre de magasins moyens doit être ajusté pour chaque horizon de prévision de la période $t+1$ à $t+k$. Cet ajustement est décrit ci-après. À chaque nouvelle période de l'horizon de prévision, l'inventaire restant est calculé. Il correspond à l'inventaire total du produit p à la période $t+k-1$ moins la prévision de vente calculées pour la période suivante ($t+k$) et décrit par l'équation (10).

Intrants périodiques additionnels:

$L'_{p,t+k}$: Inventaire restant pour le produit-couleur p pour la période $t+k$;

$MS_{0,t}$: Ratio de vente par magasin moyen associé aux magasins de vente en ligne à la période t ;

$MM_{p,t}^L(k)$: Nombre de magasins moyens associé à l'inventaire restant du produit-couleur p pour un horizon de k périodes;

$$L'_{p,t+k} = L_{p,t+k-1} - \hat{X}_t(k) \quad (10)$$

Cet inventaire restant permet d'ajuster pour chaque période k le nombre de magasins moyens à l'aide de l'équation (11).

$$MM_{p,t}^L(k) = \begin{cases} 0 & \text{si } L'_{p,t+k} < 0 \\ \text{Min}[MM^L + MS_{0,t}; MM_{p,t}^L] & \text{autrement} \end{cases} \quad (11)$$

Si l'inventaire restant est inférieur à 0, l'inventaire disponible au temps t n'est pas suffisant pour satisfaire les ventes prévues de la période $t+1$. Dans ce cas, on ramène la valeur de la prévision égale à celle de l'inventaire. Ainsi, sans nouvelle commande, les prévisions pour les périodes futures deviennent nulles. Le nombre de magasins moyens dans lesquels l'inventaire restant du produit-couleur p est déployé est alors nul.

Dans le cas où l'inventaire restant est positif, le nombre de magasins est obtenu à l'aide du modèle de déploiement des inventaires associé au département du produit-couleur considéré et présenté à la section 4.3 auquel on ajoute le ratio de vente par magasin moyen associé aux magasins de vente en ligne. Ce ratio volontairement omis lors de l'élaboration des modèles de déploiement des inventaires est toutefois considéré dans le calcul du nombre de magasins moyens. Ce nombre de magasins moyens ainsi obtenu est par la suite comparé au nombre de magasins moyens calculé au temps t afin de retenir la plus petite valeur.

4.5.2 Calcul du nombre de magasins moyens associé aux commandes reçues.

L'inventaire doit aussi être ajusté à la hausse en cas de réception de commande pour un produit-couleur. La procédure est décrite par l'équation (12).

Intrants périodiques additionnels:

$MM_{p,t}^O(k)$: Nombre de magasins moyens associé aux commandes du produit-couleur p pour un horizon de k périodes ;

M^* : Nombre maximum de magasins dans la division;

$C_{p,t+1}$: Taille de la commande du produit-couleur p reçue à la période $t+1$;

$$MM_{p,t}^O(k) = MM^C \quad (12)$$

Le nombre de magasins moyens associé aux commandes est obtenu du modèle de déploiement des commandes du département associé au produit-couleur p et présenté à la section 4.4. Le

nombre de magasins moyens de la période $t+k$ requis dans le calcul de la prévision des ventes de l'horizon suivant est alors la somme du nombre de magasins moyens associé à l'inventaire restant et le nombre de magasins moyens associé aux commandes est présenté à l'équation (13). On doit toutefois s'assurer que cette somme ne soit pas supérieure au nombre maximum de magasins dans la chaîne de détaillants.

$$MM_{p,t}(k) = \text{Min}(MM_{p,t}^L(k) + MM_{p,t}^O(k); M^*) \quad (13)$$

L'inventaire à la période $t+k$ utilisé dans le calcul du nombre de magasins moyens de la période suivante est alors la somme de l'inventaire restant et des commandes reçues.

$$L_{p,t+k} = L'_{p,t+k} + C_{p,t+k} \quad (14)$$

On répète cette procédure de mise à jour pour toutes les périodes de l'horizon de prévision de $t+1$ à $t+k$. La Figure 10 présente les prévisions de vente cumulées pour un produit-couleur p pour 112 périodes à l'avance obtenue à l'aide de la méthode proposée dans cet article. Les ventes réelles cumulées (a posteriori) du produit-couleur p , présentées pour fin de comparaison, permettent d'apprécier les résultats.

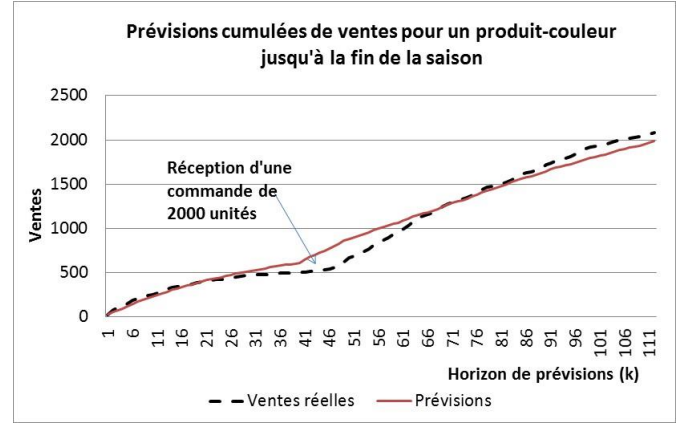


Figure 10 – Prévisions cumulées pour un produit-couleur

Les ventes cumulées prévues pour un produit-couleur sont de 1984 unités alors que les ventes réelles ont été de 2079 soit un écart de 4,56 %. Les prévisions de vente de l'exemple précédent tiennent compte de la réception planifiée d'une commande de 2000 unités à la période 41. Les prévisions sont basées sur un historique de vente de 37 périodes. Au moment de la prévision, 636 unités sont en inventaire. Ainsi, sans réapprovisionnement, l'inventaire devient nul après la 49ième période. La Figure 11 présente les prévisions de vente si aucun réapprovisionnement n'est effectué. Les résultats présentés à la Figure 11 permettent de constater un écart de 1443 unités entre les ventes réelles obtenues grâce à la réception d'une commande de 2000 unités et les ventes 636 unités sans nouvelle commande. Cet écart représente les ventes perdues et des profits en moins si aucun réapprovisionnement n'est envisagé. Tel que précisé précédemment, les ventes sont influencées par la taille de l'inventaire et par le nombre de magasins dans lesquels un produit-couleur est disponible. La Figure 11 présente les prévisions cumulées de vente pour un inventaire infini disponible au moment de la prévision à la période t . Dans ce scénario idéal, le produit-couleur est disponible dans tous les magasins de la chaîne, dans toutes les tailles désirées par les clients. Les prévisions cumulées de vente pour un horizon de 112 périodes sont alors de 3667 unités.

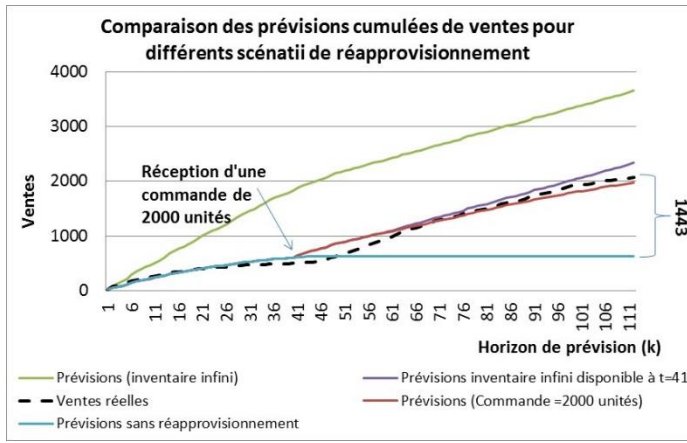


Figure 11 – Prévisions cumulées avec ou sans réapprovisionnement pour un produit-couleur

La Figure 11 présente aussi le cas d'un inventaire infini mais disponible à partir de la période 41 étant donné un délai de réapprovisionnement non nul. Dans ce cas, les ventes prévues à la fin de la période de vente sont de 2347 unités. L'écart entre les ventes prévues pour un inventaire infini à partir de la période $t=41$ et les ventes prévues avec une commande de 2000 unités est relativement faible puisque, d'une part, le délai entre la réception de la commande et la fin de la saison de vente est relativement court et d'autre part, même avec un inventaire infini, le nombre de magasins moyens utilisé dans le calcul des prévisions ne peut être plus grand que le nombre de magasins de la division limitant ainsi les prévisions obtenues.

La partie qui suit présente une méthode visant à simuler différentes scénarii de commandes dans le but de maximiser les ventes jusqu'à la fin de la saison.

5 RECOMMANDATION DE REAPPROVISIONNEMENT

Les produits introduits sur le marché ont une durée de vie planifiée par le détaillant et variable selon le type de produits et la saison de vente. L'objectif poursuivi est de déterminer une quantité à réapprovisionner afin d'optimiser les ventes et la profitabilité jusqu'à la fin de la saison pour un produit-couleur à fort potentiel. Les commandes sont reçues lorsque le niveau d'inventaire devient inférieur aux prévisions futures en considérant un délai de livraison approprié. La méthode consiste à simuler, dans un premier temps, différentes tailles de commandes afin d'assurer un inventaire suffisant pour satisfaire la demande jusqu'à la fin de la saison de vente planifiée. Pour chaque taille de commande simulée, des prévisions de vente future sont calculées. Dans l'entreprise considérée dans cette étude, 90% de l'inventaire doit avoir été écoulé à la date de fin de saison de vente, ciblée par le détaillant, pour un produit-couleur. La Figure 12 illustre cette situation. Notons que le produit-couleur est différent de celui des exemples précédents. La date de fin de saison de vente est fixée à la période $t+153$ de l'horizon de prévision et un délai de réapprovisionnement de 56 périodes est considéré. Différentes tailles de commandes sont simulées jusqu'à ce l'inventaire soit suffisant pour atteindre la date cible de fin de saison. À cette quantité, 10% de la commande initiale est ajoutée comme stock de sécurité pour satisfaire les exigences du détaillant. Pour simplifier la simulation, les tailles des commandes sont augmentées par lot de 200 unités jusqu'à ce qu'on dépasse la date cible et par lot de 50 unités, au besoin, par la suite jusqu'à

l'atteinte de l'objectif du stock de sécurité. On constate donc à la Figure 12 que la date cible est atteinte pour une commande de 3400 unités sans stock de sécurité, une commande à 3800 permet d'atteindre l'objectif fixé. La prochaine étape de la simulation consiste à déterminer un intervalle de confiance autour de la quantité à réapprovisionner potentielle.

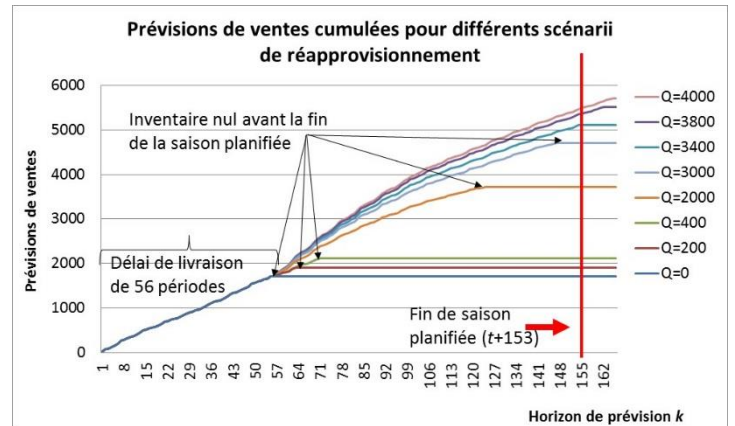


Figure 12 – Prévisions de vente cumulée en fonction de différentes tailles de commandes simulées.

L'intervalle de prévisions est obtenu à l'aide de l'équation 15 ci-dessous. Les erreurs de prévision initiales (à $t=0$) pour les k périodes de l'horizon de prévisions sont estimées à partir de la moyenne des erreurs de prévision de tous les autres produits de la même catégorie dans la structure hiérarchique pour la même saison de vente l'année précédente. Les erreurs de prévision (pour les k périodes de l'horizon) pour un produit-couleur spécifique se construisent progressivement à chaque période de la saison de vente grâce à une mise à jour des erreurs initiales en fonction des erreurs de prévisions propres au produit-couleur.

Intrants périodiques additionnels:

$\hat{X}_t(k)$: Prévision des ventes effectuée au temps t pour un horizon de k périodes à l'avance;

$\hat{E}_t(k)$: Erreur de prévision calculée au temps t pour un horizon de k périodes à l'avance;

$$\hat{X}_t(k) \pm Z_{\alpha/2} \times \hat{E}_t(k) \quad k = 1, \dots, q \quad (15)$$

où $Z_{\alpha/2}$, une cote obtenue à l'aide d'une table de loi de probabilité normale centrée réduite $Z \sim N(0,1)$, permet de tenir compte du niveau de confiance exprimé par l'intervalle de prévision. Voir [Bouchard *et al.*, 2015] pour plus de détails.

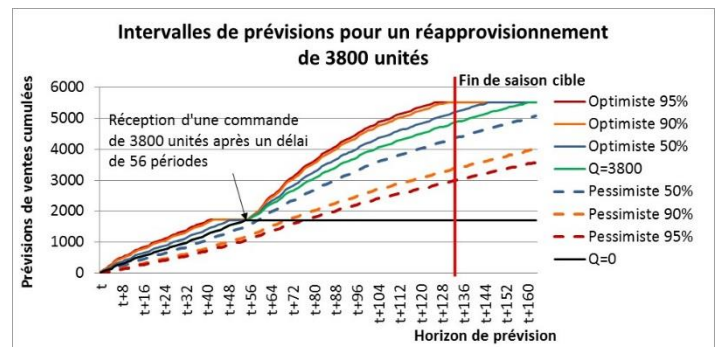


Figure 13 – Intervalles de prévisions de vente cumulée pour une commande de 3800 unités.

La Figure 13 présente les prévisions cumulées de vente optimiste, probable et pessimiste suite à un éventuel réapprovisionnement d'une quantité de 3800 unités pour un produit-couleur. Si une commande de 3800 unités est reçue à la période de $t+56$, les ventes moyennes prévues sont de 5320 unités à la date de fin de vente ciblée. Les prévisions optimistes de vente (pour un niveau de confiance de 95%), sont de 5512 unités mais écoulées avant $t+153$. Les prévisions de vente pessimistes (pour un niveau de confiance de 95%) sont alors de 3365 unités. Sans réapprovisionnement les ventes cumulées prévues sont de 1712 unités seulement. La simulation permet aussi d'estimer différentes tailles de commandes en fonction de dates de fin de saison variables permettant au détaillant un meilleur portrait des possibilités de réapprovisionnement offertes. La Figure 14, présente, pour le produit-couleur des Figures 12 et 13, les différentes tailles de commande à réapprovisionner en ajoutant les notions de risques pour le détaillant. Ainsi à la date de fin de saison ciblée, une commande de 900 unités constituerait une décision pessimiste de réapprovisionnement, une commande de 3800 unités constituerait une commande moyenne ou réaliste alors qu'une commande optimiste serait de 7050 unités. Si le détaillant ramène sa date de fin de saison à la période $t+112$, la taille des commandes pourrait varier entre 200 unités (pessimiste) et 2800 unités (optimiste) avec une quantité moyenne de 1800 unités.

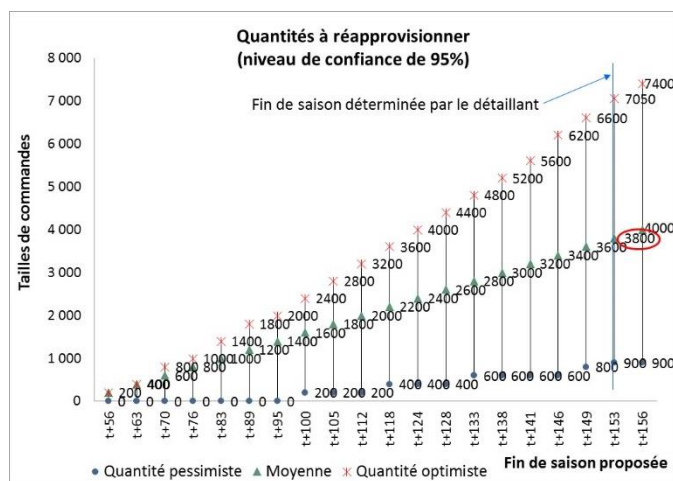


Figure 14 – Tailles de commande estimées en fonction de dates de fin de saison variables.

Les différentes tailles de commandes sont définies comme suit. À chaque période $t+1$, $t+2$, ..., $t+k$ des prévisions de vente future sont calculées. Les prévisions prennent la forme de vente pessimiste, de vente moyenne ou vente optimiste permettant ainsi de construire un intervalle de prévision selon un niveau de confiance choisi (95% pour l'exemple de la Figure 14). Selon la valeur de la prévision de vente cumulée estimée, les tailles des commandes permettant de satisfaire ces ventes prévues sont déterminées. La Figure 15 présente la procédure suivie afin de générer les résultats de la Figure 14. La dernière étape de la démarche visant une recommandation de réapprovisionnement consiste à effectuer l'analyse de la demande pour un produit-couleur donné. L'offre de produits des détaillants comprend parfois des produits avec des similitudes de sorte qu'un produit peut être demandé comme substitut à un autre produit en cas de rupture de stock. Dans ce cas, une analyse de la demande permet de connaître les substituts potentiels d'un produit donné, de connaître l'inventaire des substituts potentiels de même que leur

date ciblée de fin de vente. Au terme de cette analyse une décision de réapprovisionnement est prise.

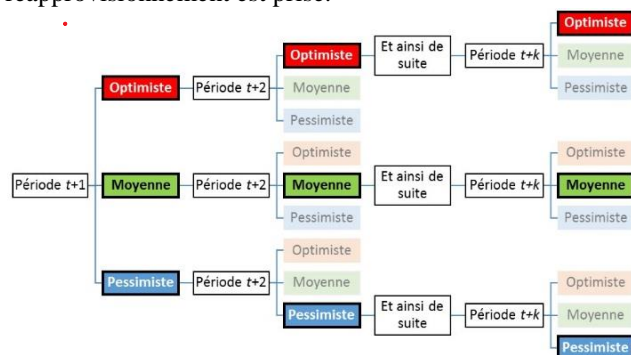


Figure 15 – Démarche de calcul des intervalles de commande en fonction de dates de fin de saison variables.

Illustrons un exemple de quelques-unes des diverses situations possibles considérées dans ce processus de prise de décision. Imaginons un produit-couleur X, à fort potentiel de vente, et que l'analyse des prévisions permet d'envisager le réapprovisionnement d'une certaine quantité Q. Si X possède des caractéristiques uniques de sorte qu'aucun produit n'agit comme substitut et que la date de fin de saison de vente ciblée est suffisamment éloignée pour permettre l'écoulement de la commande à la date ciblée considérant un délai de réapprovisionnement, dans ce cas, un réapprovisionnement est recommandé. Si la date de fin de saison de vente est proche, aucun réapprovisionnement n'est proposé permettant ainsi au détaillant la possibilité d'offrir un tout nouveau produit. Autre situation, supposons que X possède des caractéristiques similaires à deux autres produits-couleur A et B offerts par le détaillant. Une analyse des inventaires est effectuée afin de déterminer si on doit envisager un réapprovisionnement. Si les produits A et B ont des inventaires imposants et que la date de fin de vente du produit X est proche, aucun réapprovisionnement n'est envisagé permettant ainsi au détaillant d'écouler A et B. Si la date de fin de vente est éloignée, si les produits similaires ont des inventaires restreints, un réapprovisionnement est suggéré. Si l'inventaire des produits similaires est important, il est à la discrétion du détaillant d'effectuer un réapprovisionnement en fonction des recommandations fournies.

6 RESULTATS

Les figures suivantes montrent un aperçu du type de propositions de réapprovisionnement obtenues avec la méthode proposée.

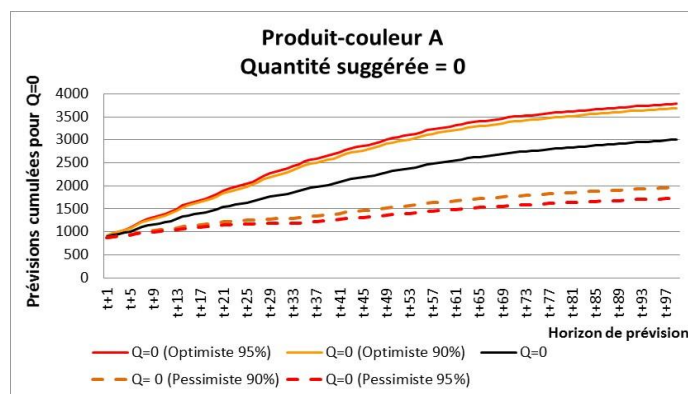


Figure 16 – Cas d'un produit-couleur sans réapprovisionnement proposé.

La Figure 16, illustre le cas du produit-couleur A dont l'inventaire à la fin de la période de vente ($t+98$) est suffisant pour satisfaire les ventes prévues sans réapprovisionnement. La Figure 17 présente le cas du produit-couleur B pour lequel une commande de 1850 unités est suggérée afin de couvrir les prévisions cumulées jusqu'à la fin de la saison de vente planifiée à $t+155$.

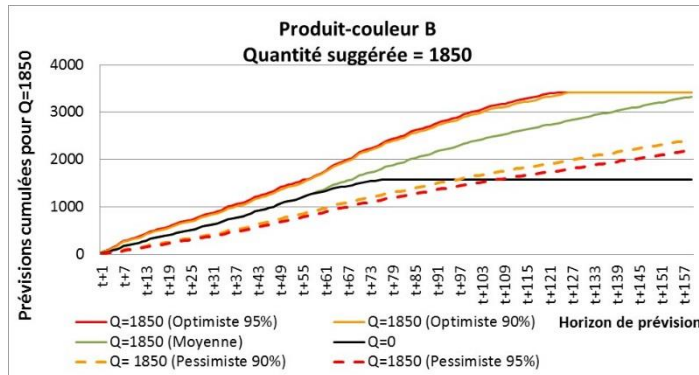


Figure 17 – Cas d'un produit-couleur avec un réapprovisionnement suggéré de 1850 unités

Des propositions de réapprovisionnement selon des dates de fin de saisons variables sont aussi suggérées afin de saisir toutes les opportunités de marché.

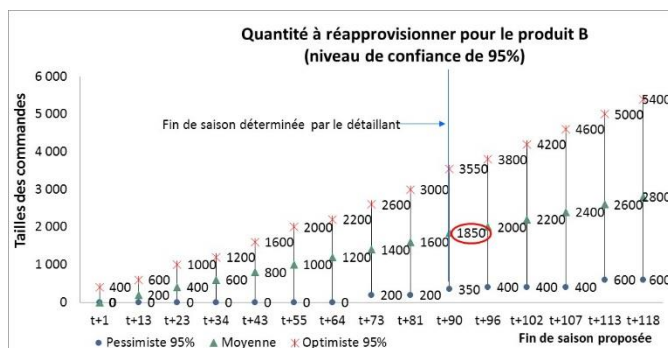


Figure 18 – Propositions de tailles de commandes en fonction de dates de fin de saison variables

Suite aux suggestions de réapprovisionnement, une analyse de la demande des produits substitués potentiels est effectuée. Dans le cas du produit B, plusieurs produits substitués sont associés au produit-couleur B, dans ce cas, un réapprovisionnement à faible risque constituerait une bonne décision. Une commande de 800 unités est donc proposée. La méthode de prévision présentée dans cet article donne des écarts de prévision moyens de 22,55 % par rapport aux ventes réelles pour les produits testés.

À la lumière des résultats obtenus par l'outil développé dans cette étude, le détaillant possède une image plus claire des possibilités de réapprovisionnement et des risques qui y sont associés. Outre les prévisions de vente, l'analyse de la demande du produit et sa relation avec des produits substitués amène un élément d'information additionnel indispensable à la prise de décision de réapprovisionnement.

7 CONCLUSION

Cet article a présenté une méthode de classification des produits afin d'identifier en début de saison les produits à fort potentiel de vente. Des prévisions de vente sont par la suite effectuées pour ces candidats potentiels à un éventuel réapprovisionnement. La méthode de prévision utilisée, considère un ratio de vente par

magasin moyen par jour moyen, le nombre de magasins moyens et un indice saisonnier journalisé. Les prévisions, présentées sous la forme d'un intervalle indiquant des ventes pessimistes, moyennes ou optimistes, servent par la suite à calculer des tailles de commandes suggérées afin d'aider la prise de décision de réapprovisionnement. L'outil a été testé et validé dans une entreprise œuvrant dans l'industrie du commerce de détail possédant plusieurs milliers de produits à court cycle de vie. Cette méthode réduit considérablement les risques d'erreurs liés aux décisions de réapprovisionnement et permet de diminuer les quantités de produits invendus à la fin de la saison de vente.

8 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le programme Accélération de Mathematics of Information Technology and Complex Systems (MITACS) et le Fonds Québécois de Recherche, Nature et Technologie (FQRNT) pour leur soutien.

9 REFERENCES

- Al-Zubaidi, H., Tyler, D. (2004) A simulation model of quick response replenishment of seasonal clothing. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 32 (6), 320-327
- Bouchard, J., Montreuil, B., (2009) Méthode de prévision journalière de séries temporelles saisonnières. *Congrès international de génie industriel – CIGI-2009*, Bagnères de Bigorre (France), 10-12 Juin.
- Bouchard, J., Montreuil, B., (2011) Prévisions journalières de séries temporelles saisonnières avec effets calendaires. *Congrès international de génie industriel – CIGI-2011*, Saint-Sauveur (Canada), 12-14 Octobre.
- Bouchard, J., Montreuil, B., Morneau, A., (2015) Intervalles de prévisions de ventes de produits avec historique nul ou limité. *Congrès international de génie industriel – CIGI-2015*, Québec (Canada), 26-28 Octobre.
- Goto, H., Tanaka, M., Kasahara, M. (2008). Short Term Replenishment Method for Short Lifecycle Goods, *IEEE*, 1088-1093.
- Kawakatsu, H., Homma, T., Sawada, K. (2014) An Optimal Replenishment Policy for Seasonal and Deteriorating Items. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong.
- Sang, H., Takakuwa, S. (2012) A simulated-based approach for obtaining optimal order quantities of short-expiration date items at a retail store. In: *WINTER SIMULATION CONFERENCE*. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, Berlin. 1-12.
- Souza, R. C., Barros, M., Miranda, C. V. C. (2007). Short-term load forecasting using double seasonal exponential smoothing and interventions to account for holiday and temperature effects. *TALAO II-2 do Taller Latino Iberoamericano de Investigación de Operaciones*, Acapulco, México. 1-8.
- Taylor, J. W. (2003). Short-term electricity demand forecasting using double seasonal exponential smoothing. *Journal of the Operational Research Society*, 54,799-805
- Thomassey, S. (2002). Méthodologie de la prévision des ventes appliquée à la distribution textile. Université des sciences et technologies de Lille.
- Winters, P. R. (1960). Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. *Management Science*, 6 (3), 324-342.